

Mimmi Kalenius

TURVALLISUUS PURKUKOHTEIDEN MATERIAALIVIRTOJEN KIERTOTA- LOUSKETJUISSA

Tarkastelu betonin ja betonielementteihin integroi-
tujen lämmöneristeiden kiertotalousketjuista Suo-
messä

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja: Annina Takala
Helmikuu 2023

TIIVISTELMÄ

Mimmi Kalenius: Turvallisuus purkukohteiden materiaalivirtojen kiertotalousketjuissa
Safety in the circular economy chains of demolition material flows
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tekniikan ja luonnontieteiden TkK-tutkinto-ohjelma, ympäristö- ja energiatekniikka
Helmikuu 2023

Luonnonvarojen käytön kestävyysvaje ja ilmastonmuutos ovat globaalin tason ongelmia, joiden ratkaisemisen yhdeksi potentiaalisiksi osatekijäksi on viime vuosina noussut kiertotalous. Kiertotalouskonseptin mukaisessa toiminnassa kerran käyttöön otettu materiaali pyritään pitämään materiaalikierrossa mahdollisimman pitkään, jotta siitä saatava hyöty voidaan maksimoida ja neitseellisten materiaalien tarve vähenee. Materiaalia voidaan sen elinkaaren aikana hyödyntää uudelleen sellaisenaan tai sitä voidaan muokata erinäisillä prosesseilla niin, että se soveltuu johonkin uuteen käyttökohteeseen. Rakennussektori kuluttaa huomattavan määrän eri materiaaleja maailmanlaajuisesti, joten lisäämällä kiertotalouden mukaista toimintaa tällä sektorilla voitaisiin sekä neitseellisten materiaalien tarvetta että rakennustarvikkeiden valmistamisessa syntyvien päästöjen määrää pienentää.

Betoni on materiaalina tärkeässä osassa talonrakentamisessa ja sen sekä sementin valmistuksessa muodostuu vuosittain 8 % globaaleista hiilidioksidipäästöistä. Betonielementtirakentaminen yleistyi Suomessa 1950-luvun jälkeen ja sekä nyt että tulevana vuosikymmeninä merkittävä osa suomalaisista purkukohteista on rakennettu betonielementeistä. Tästä syystä betonielementtien kiertotalouspotentiaalin hyödyntäminen on Suomessa ajankohtaista. Kiertotalouspotentiaalin hyödyntäminen vaatii sekä olemassa olevien että uusien kiertotalousketjujen käyttöönottoa, joka tulee voida suorittaa turvallisesti. Etenkin uusiin toimintoihin ja materiaalinprosessointimenetelmiin voi liittyä ennalta tuntemattomia riskejä, joiden tunnistaminen on tärkeää työturvallisuuden varmistamisen kannalta. Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli selvittää millaisia kiertotalousketjuja betonielementtien olennaisimmille osille, betonille ja lämmöneristeille, on olemassa tai kehitteillä ja millaisilla menetelmillä näiden ketjujen turvallisuuskäytännöistä huolehtimista voidaan toteuttaa yritys- ja toimintotasolla.

Kandidaatintyössä määritettiin kiertotalousketjut purkukohteista saavalle betonille, ESP-muoville, mineraalivillalle sekä polyuretaanille. Betonille määritettiin neljä vaihtoehtoista kiertotalousketjua ja kullekin lämmöneristemateriaalille kaksi. Turvallisuustarkastelumenetelmiksi valittiin betonin kiertotalousketjuille pienten ja keskisuurten yritysten haavoittuvuusanalyysi ja lämmöneristeiden kiertotalousketjuille SWOT-analyysi. Menetelmät valittiin kiertotalousketjujen ominaisuuksien ja toiminnan vakiintuneisuuden perusteella. Kandidaatintyön laajuuden rajoissa pysymiseksi betonin kiertotalousketjuille tehtiin vain suppea, esimerkkihakuihin haavoittuvuusanalyysi. Analyysissä eri ketjuista löydettiin sekä ketjuspesifejä että useammille ketjuille tai ketjujen osille yhteisiä riskejä. Tyypillisiä useammille betonin ketjuille yhteisiä riskejä olivat muun muassa purkamisvaiheen työturvallisuuteen liittyvät riskit, kun taas esimerkiksi kuljetusvaiheen riskeihin vaikutti purkamistapa eli elementtien ehjyys tai murskautuneisuus.

Lämmöneristeille määritetyille kiertotalousketjuille ei laitos- ja prosessitason tiedon vähyyden vuoksi suoritettu SWOT-analyysia vaan todettiin, että analyysit tulisi suorittaa kiertotalousketjujen käyttöönoton yhteydessä toimintaa harjoittavien yritysten toimesta. Suomessa EPS-muovien, mineraalivillan ja polyuretaanin kierrätysprosessit ovat muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta tällä hetkellä tutkimus- ja kehitysvaiheessa, ja mainitut poikkeukset ovat vastikään aloittaneet toimintansa tai ovat pian aloittamassa laitostason toimintaa. Suomalaisten purkukohteiden lämmöneristemateriaalien kiertotalouspotentiaalin turvallinen hyödyntäminen vaatisi lisää tutkimusta, tunnettujen kierrätysprosessien laajamittaista käyttöönottoa ja käyttöönoton yhteydessä tehtävää turvallisuussuunnittelua.

Avainsanat: kiertotalousketju, betonielementti, lämmöneriste, turvallisuus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	4
2. KIERTOTALOUS JA SUOMALAISTEN PURKUKOHTTEIDEN OMINAISUUDET ...	6
2.1 Kiertotalous ja purkumateriaalien kiertotaloustavoitteet	6
2.2 Purkukohteet Suomessa	8
2.3 Betonin ja lämmöneristeiden kiertotalousketjut.....	11
3. TURVALLISUUS JA SEN TARKASTELUMENETELMÄT	15
3.1 Turvallisuus ja riskienhallinta	15
3.2 Pienten ja keskisuurten yritysten haavoittuvuusanalyysi.....	15
3.3 SWOT-analyysi	17
4. TURVALLISUUS KIERTOTALOUSKETJUN ERI OSISSA.....	19
4.1 Betonin kiertotalousketjujen suppeat haavoittuvuusanalyysit.....	19
4.2.1 Betonin 1 ketju	19
4.2.2 Betonin 2 ketjut	22
5. JOHTOPÄÄTÖKSET	25
LÄHTEET	27

1. JOHDANTO

Kiertotalous on viime vuosina noussut näkyvästi yhdeksi keskeiseksi kehittämissuunnaksi luonnonvarojen käytön kestävyysvajeen ratkaisemisessa. Perinteisen lineaarisen talouden korvaaminen kiertotaloudella mahdollistaisi tuleville sukupolville yhtäläiset materiaaliset resurssit kuin aiemmille sukupolville, kun taas nykyisen, pääosin lineaarisen talousmallin jatkaminen loputtomasti on mahdotonta, sillä maapallon luontaiset resurssit ovat rajalliset (Korhonen et al., 2018). Yksi kiertotalouden perusajatuksista on, että käyttökänsä päähän tulleesta tuotteesta tai materiaalista voidaan tehdä uusi tuote, tai tuotetta voidaan käyttää sellaisenaan toisessa kohteessa tai käyttötarkoituksessa (Cheshire, 2016). Tällöin käyttökelpoinen materiaali kiertää taloudessa mahdollisimman pitkään eikä päädy jätteeksi heti, kun sen hyödyntäminen alkuperäisessä käyttötarkoituksessa lopetetaan. Kiertotaloudella voidaan vähentää useiden yhteiskunnan materiaali-intensiivisten toimintojen, kuten rakentamisen, hiilidioksidipäästöjä (Zhu et al., 2022).

Betonin ja sementin valmistus aiheuttaa peräti 8 % vuotuisista hiilidioksidipäästöistä globaalisti (Ellis et al., 2020). Kun alkuperäisestä käytöstään poistuva betoni hyödynnetään uudelleen, vältetään uuden betonin valmistuksen aiheuttamilta hiilidioksidipäästöiltä. Betoni toimii elinkaarensa aikana hiilinieluna karbonisaatioreaktion ansiosta, ja kun käytetty betoni murskataan, sen pinta-ala kasvaa (Rudus Oy, 2017). Tämä kiihdyttää karbonisaatiorektiota ja betonimurske pystyy parhaimmillaan sitomaan noin puolet valmistuksessaan syntyneestä hiilidioksidimäärästä (Rudus Oy, 2017). Purkubetonista saatavan murskeen käyttäminen maanrakentamisessa vähentää myös luonnon kiviainesten tarvetta betoninvalmistuksen raaka-aineena.

Eri toimialojen toimijoiden siirtyminen kiertotalousmallin mukaiseen materiaalien hyödyntämiseen luo uusia liiketoimintoja ja tuotantoprosesseja, joiden käyttöönotto tulee voida suorittaa hallitusti ja turvallisesti. Talonrakennussektorilla on Suomessa merkittävästi hyödyntämätöntä kiertotalouspotentiaalia (Zhu et al., 2022). Kun tätä potentiaalia aletaan enenevissä määrin hyödyntää, on eri talonrakennusmateriaalien uudelleenkäytön myötä syntyvien uusien kiertotalousketjujen turvallisuusnäkökulmat selvitettävä, sillä uusiin liiketoimintoihin ja materiaalinkäsittelyprosesseihin voi liittyä uudenlaisia riskejä. Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan purkukohteista saatavan betonin sekä talonrakentamisessa tyypillisesti käytettyjen lämmöneristeaineiden kiertotalousketjujen eri osiin liittyviä riskejä sekä toimintatapoja näiden riskien asianmukaisen hallitsemisen varmistamiseksi.

Työn tavoitteena on vastata seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- millaisia osia betonin ja lämmöneristeiden kiertotalousketjuissa on?
- millaisia riskejä tarkasteltavien kiertotalousketjujen eri osiin liittyy ja millaiset riskienhallintamenetelmät soveltuvat erityyppisille kiertotalousketjuille?

Purkukohteista saatavat materiaalivirrat käsittävät merkittävästi enemmän eri materiaaleja kuin mitä kandidaatintutkielman laajuuden puitteissa on mielekästä käsitellä, joten työ on rajattu koskemaan kahta suomalaisten elementtitalopurkujen perusmateriaalia: betonia ja lämmöneristeitä. Näistä jälkimmäinen kattaa useita erilaisia materiaalityyppejä, joita käsitellään tarkemmin luvussa 2. Purkukohteiden muidenkin materiaalivirtojen kiertotalousketjujen turvallisuustarkastelu olisi tarpeellista materiaali- ja prosessitasolla.

Luvussa 2 esitellään tarkemmin kiertotalouden konsepti, selvitetään suomalaisen rakennushistorian avulla nykyisten purkukohteiden ominaisuuksia ja määritetään betonille sekä tyypillisille betonielementteihin integroiduille lämmöneristemateriaaleille kiertotalousketjut olemassa tai kehitteillä olevien kierrätysprosessien pohjalta. Tämän jälkeen luvussa 3 perehdytään kahteen kiertotalousketjujen turvallisuustarkasteluihin hyödynnettävään riskienhallintamenetelmään. Luvussa 4 käsitellään lyhyesti turvallisuuden peruskäsitteitä ja suoritetaan esimerkkien avulla suppea haavoittuvuusanalyysi purkubetonin kiertotalousketjuille. Viimeisenä aiempien lukujen perusteella tehdyt johtopäätökset esitetään luvussa 5.

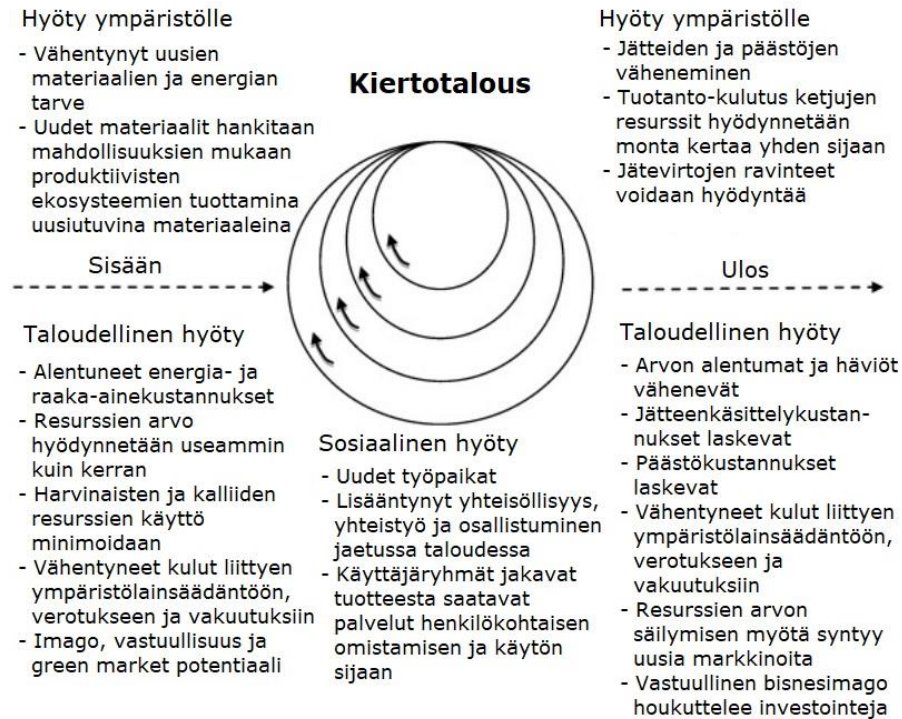
2. KIERTOTALOUS JA SUOMALAISTEN PURKUKOHTEIDEN OMINAISUUDET

Tässä luvussa käsitellään kiertotalouden konseptia ja joitakin EU-tasolla sekä Suomessa asetettuja kiertotaloussiirtymään liittyviä tavoitteita. Lisäksi tarkastellaan suomalaisten purkukohteiden ja niistä saatavien materiaalivirtojen ominaisuuksia ja määritetään kiertotalousketjut betonille sekä tietyille elementtipurkukohteiden tyypillisille lämmöneristeille.

2.1 Kiertotalous ja purkumateriaalien kiertotaloustavoitteet

Kiertotalous on konsepti, jonka tieteellinen määritelmä ei ole täysin yksiselitteinen, vaan kiertotaloustoimijat kuten yritykset ja valtiolliset toimielimet ovat määritelleet käsitteen kukin omalla tavallaan. Korhonen et al. (2018) ovat ehdottaneet tieteelliseksi määritelmäksi, että kiertotalous on yhteiskunnallisista tuotanto-kulutus systeemeistä koostuva talousjärjestelmä, joka maksimoi lineaarisista luonto-yhteiskunta-luonto materiaali- ja energiavirroista saatavan hyödyn. Kiertotalous rajoittaa materiaali- ja energiavirrat tasolle, jonka luonnon kantokyky kestää ja hyödyntää ekosysteemien luontaisia kiertoja taloudessa luontaisia uusiutumisenopeuksia kunnioittaen (Korhonen et al., 2018). Tässä kandidaatintyössä kiertotalousketjulla viitataan tuotteen tai materiaalin elinkaaren tiettyyn osaan, kun sen elinkaari on kiertotalouskonseptin mukainen.

Kuvassa 1 on havainnollistettu kiertotalouteen siirtymisen tuottamia hyötyjä, jotka on jaettu ympäristön ja taloudellisen toiminnan hyötyihin sekä sosiaaliseen hyötyyn. Lineaariseen talouteen verrattuna kiertotalouden hyödyt ympäristölle ovat selkeät, sillä neitseellisten materiaalien ja niiden hankintaan sekä prosessointiin vaadittavan energian tarve vähenee kiertotalouden myötä. Lisäksi kiertotalous vähentää jätteen ja päästöjen määrää. Kiertotaloussiirtymän merkittävin taloudellinen hyöty syntyy pitkällä aikavälillä, sillä luonnonvarat kestävät pidempään ja ekosysteemit pysyvät tuotavina, kun niitä ei kuluteta lineaariselle taloudelle tyypillisellä riistävällä tavalla. (Korhonen et al., 2018) Toimiva kiertotalous vaatii laajamittaista yhteistyötä yhteiskunnan eri toimijoiden kesken ja tuottaa erilaisia hyötyjä eri toimijoille (Euroopan komissio, 2020).



Kuva 1: Kiertotalousmalliin siirtymisen ympäristölliset, taloudelliset ja sosiaaliset hyödyt. (Korhonen et al. 2018)

Kiertotalous on konseptina merkittävästi uudempi kuin suurin osa Suomessa tällä hetkellä purettavista rakennuksista, joten on selvää, että kohteiden suunnittelu- ja rakentamisvaiheissa ei ole huomioitu kiertotalousnäkökulmaa. Purkukohteista saataville materiaaleille tapahtuu siirtymä lineaarisesta suunnitellusta materiaalinkäytöstä kiertotalouteen, joten ei olisi mielekäästä tarkastella näiden materiaalien kiertotalousketjuja niiden tuotantoprosessien alusta asti. Vastaavasti kun materiaalilla on useita eri käyttötarkoituksia elinkaarensa aikana, ei ole syytä tarkastella elinkaaren jo tapahtuneita vaiheita, elleivät ne ole vaikuttaneet materiaalin ominaisuuksiin siten, että muutokset on huomioitava. Tässä tarkastelussa keskitytään purkukohteista saatavan betonin ja lämmöneristeiden kiertotalousketjuihin, joiden katsotaan alkavan rakennuksen purkusuunnitelmasta ja purkamisesta.

Kiertotaloustavoitteita on asetettu niin EU:n kuin yksittäisten jäsenmaiden tasolla. EU:n ensimmäinen kiertotaloustoimintasuunnitelma hyväksyttiin vuonna 2015 ja uusi kiertotaloustoimintasuunnitelma (CEAP) vuonna 2020 osana European Green Deal -strategiaa. Yksi viidestä painopistealueesta oli jo vuoden 2015 suunnitelmassa rakennus- ja purkujäte (Euroopan komissio, 2020). Suomessa purkumateriaalien kiertotaloustavoitteet ovat olleet esillä esimerkiksi hallituksen esityksessä 139/2022, jossa ehdotettiin maankäyttö- ja rakennusasetukseen sisältyvän purkumateriaali- ja rakennusjätteen selvitysveloit-

teen korottamista veloitteesta laiksi tietyin tarkennuksin. Tämä liittyy Suomen tavoitteeseen päästä rakennus- ja purkujätteen osalta 70 % materiaalinhyödyntämistavoitteeseen, joka on asetettu vuoden 2020 jätedirektiivissä EU:n laajuisesti tavoitteeksi (HE 139/2022). Syyskuussa 2022 tuli myös voimaan Suomen ensimmäinen EEJ (ei enää jätettä) -asetus, joka sisältää arviointiperusteet betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymiselle. Jätteeksi luokittelun päätyminen helpottaa betonimurskeen käyttöä ja edistää siten kiertotaloutta. (EEJ 466/2022)

2.2 Purkukohteet Suomessa

Suomalaisten purkukohteiden ominaisuuksista on vastikään koottu selvitysraportti, joka julkaistiin keväällä 2022. Raportti tarkastelee suomalaisissa rakennuspurkukohteissa tyypillisesti esiintyviä materiaaleja ja niiden uudelleenkäyttöpotentiaalia osina sekä materiaalina terveystieteellistä näkökulmaa painottaen (Zhu et al., 2022). Raportin mukaan tyypillisiä purkukohteista saatavia materiaaleja ovat erilaiset puutavarat, metallit, lasi, muovit, tiilituotteet sekä tässä työssä tarkasteltavat betoni ja eristemateriaalit (Zhu et al., 2022).

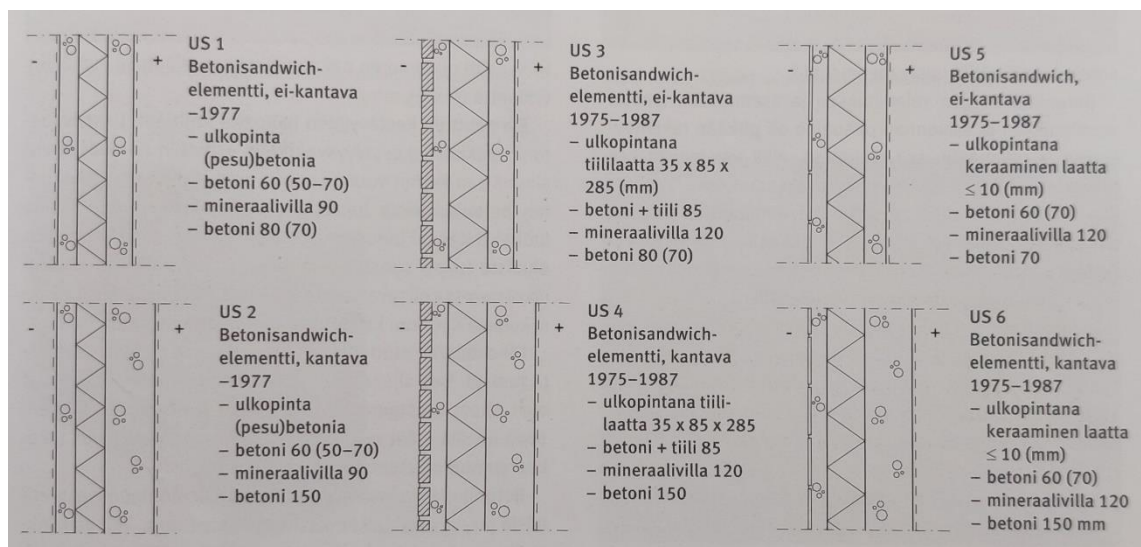
Suomen nykyisestä rakennuskannasta 70 prosenttia on rakennettu 1960-luvulla tai myöhemmin ja purettujen rakennusten keski-ikä on 2000-luvulla vaihdellut rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan 32:sta 58:n vuoteen (Huuhka & Lahdensivu, 2014). Pisin keski-ikä on asuinrakennuksilla, kun taas esimerkiksi julkisten rakennusten keski-ikä on purettaessa ollut vain 41 vuotta (Huuhka & Lahdensivu, 2014), joten rakennukset olisivat purkuhetkellä vielä olleet teknisen käyttöikänsä kannalta käyttökelpoisia. Rakennusten purkamisen yleisin peruste ei olekaan teknisen käyttöikänsä päätyminen, vaan uudisrakentaminen (Zhu et al., 2022).

Betonista muodostui paikallisista eroista huolimatta suomalaisen kerrostalorakentamisen peruspilari 1960-luvulla (Mäkiö et al., 1994), ja kuten edellisessä kappaleessa todettiin, suurin osa nykyisistä purkukohteista on siten rakennettu betonirakentamisen valtakaudella. 1960–70-luvuilla paikalliset erot kerrostalorakentamisessa olivat merkittäviä, mutta kasvukeskuksissa suurmuotti- ja betonielementtirakentaminen oli yleisintä (Mäkiö et al., 1994) ja näin ollen monet uudiskohteiden tieltä pois purettavat kerrostalot on rakennettu näillä tekniikoilla. Suurmuottitekniikka edustaa paikallavalurakentamista, kun taas betonielementit ovat tehdasvalmisteisia (Mäkiö et al., 1994). 1970–90-luvuilla Suomessa rakennetuista asuinkestoaloista merkittävä enemmistö on runkotyyppiltään niin sanottuja kirjahyllyrunkoisia kerrostaloja. Niiden ohella on rakennettu vähäisempi määrä teräs-, puu- ja betonipilarirunkoisia kerrostaloja. Kirjahyllyrungon kantavina rakenteina toimivat teräsbetoniseinät ja päädyt, ja runkotyyppistä on 1970–90-luvuilla tyypillisesti käytetty kolmea eri versiota: täyselementtistä suurlevyjärjestelmää, osaelementtistä niin

sanottua suurmuottitaloa sekä täyselementtistä BES- eli betonielementtistandardin mukaista järjestelmää. (Neuvonen, 2015)

Yleisin ulkoseinärakenne vuosien 1975 ja 2000 välillä rakennetuissa kerrostaloissa on betonisandwich-elementti, jossa sisä- ja ulkokuori sekä mineraalivillaeriste ovat kiinteästi yhdessä (Neuvonen, 2015). 1960-luvun alkupuolella yleisiä ulkoseinärakenteita olivat erilaisten teräsbetonin, mineraalivillan ja ulkoverhous- sekä tuulensuojalevy-yhdistelmien ja höyrykarkaistun kevytbetonin ohella vielä myös tiili-mineraalivilla-yhdistelmät. Vuosikymmenen loppupuoliskolla sekä 1970-luvulle tultaessa elementeillä toteutetut ulkoseinät olivat jo hyvin yleisiä. (Mäkiö et al., 1994) 1960–70-luvulla ala- ja välipohjissa käytettiin paljon massiivisia välipohjaelementtejä suurlevyjärjestelmällä rakennetuissa taloissa ja paikalla valettuja välipohjia tehtiin runsaasti vielä 1980-luvulla betonielementtistandardia mukailevien ontelolaattapohjien ohella (Neuvonen, 2015). Ontelolaattojen materiaali on betonia ja terästä. Yläpohjissa on yleensä käytetty samaa kantavaa rakennetta kuin välipohjissa (Neuvonen, 2015).

Kuvassa 2 on havainnollistettu betonisandwich -tekniikan käytön monipuolisuutta 1970–80-luvun kerrostalojen ulkoseinäratkaisuissa. Mineraalivillakerroksen paksuus vaihtelee tällä aikavälillä rakennetuissa ulkoseinissä 90 ja 120 mm välillä, mutta myös ohuempia, vanhentuneen säädöskokoelman mukaisia seiniä on rakennettu vielä 1970-luvulla (Neuvonen, 2015). Elementtien julkisivuna näkyvät pintamateriaalit vaihtelevat paljaasta tai eri menetelmin käsitellystä betonista erilaisiin laattoihin. Tämä saattaa vaikuttaa purukohteen elementtien uudelleenkäytön suunnitteluun ja uudelleenpinnoituskäsittelyn tarpeellisuuteen.



Kuva 2: Tyypillisimpiä ulkoseinien betonisandwich -tyyppejä 1970- ja 1980-luvuilla rakennetuissa elementtikerrostaloissa. (Neuvonen, 2015)

Kerrostalojen ulkoseinien sekä ala- ja yläpohjien eristeissä tyypillisesti käytettyjä materiaaleja ovat olleet mineraalivillat, sahanpuru, lastuvilla, paisutettu polystyreenimuovi eli EPS (Expanded PolyStyrene, puhekielellä usein styrox) ja polyuretaani (Rakennustietosäätiö & LVI-Keskusliitto, 2008). Näistä keskitytään mineraalivillojen, EPS:n ja polyuretaanin kiertotalousketjuihin, sillä kymmeniä vuosia vanhan sahanpurun ja lastuvillan uudelleenkäyttö materiaalina ei sellaisenaan tai prosessoituna ole mielekäästä. Purkukohdeiden betonielementtien mineraalivillakerrosten paksuus sekä mineraalivillan tiheys vaihtelevat rakennusvuoden mukaan, koska lämmöneristysnormeja ja myöhempiä lämmöneristysvaatimuksia on tiukennettu useampaan otteeseen 1960-luvulta alkaen (Neuvonen, 2015). Vanhojen eristemateriaalien laatu ei tyypillisesti vastaa nykyaikaisia eristeitä, joten eristyksen vaihtaminen tai lisäeristäminen on tarpeellista, mikäli elementtiä halutaan käyttää uudelleen julkisivussa. Sandwich-elementteihin integroidut eristeet ovat tyypillisesti olleet mineraalivillalevyjä tai toisinaan EPS-levyjä (Rakennustieto Oy, 2002).

Eristeiden uudelleenkäytön ja kierrätysprosessoinnin yhtenä merkittävänä esteenä on uusien eristeiden edullinen hinta (Zhu et al., 2018), joten kiertotalouden toteutuminen vaatisi taloudellisia tai lainsäädännöllisiä ohjauskeinoja. Joissakin vanhoissa eristemateriaaleissa on myös käytetty nykyään kiellettyjä aineita, kuten HFC-kaasuja (Zhu et al., 2022), mikä hankaloittaa sekä uudelleenkäyttöä että prosessointia niin jätteenä kuin käyttömateriaalina. EPS-muoveille ei tällä hetkellä ole käytössä toimivaa kierrätysmenetelmää (Zhu et al., 2022). Suomessa on kuitenkin viime vuosina tehty EPS-muovien kierrätyksen suhteen merkittävää kehitystyötä, ja Finnfoam Oy:n uuden EPS-muovien käsittelylaitoksen arvioitiin valmistuvan vuoden 2022 loppuun mennessä. Lisäksi VTT:n ja kumppanitoimijoiden syksyllä 2022 päättyneessä MoPo (Multitechnological recycling of polystyrene) -projektissa kehitettiin EPS:n ja muiden polystyreenimuovien mekaanisia sekä kemiallisia kierrätystekniikoita.

Sellaisenaan uudelleenkäyttöön soveltuvassa kunnossa säilyneet EPS levyt olisi onnistuttava purkamaan ehjinä kohteesta. Yleisesti kaikkia uudelleenkäyttöön suunniteltuja eristemateriaalipurkuja koskee tarve purkaa materiaali mahdollisimman puhtaana ja tasalaatuisena (Zhu et al., 2022). Tätä saattaa hankaloittaa esimerkiksi eristelevyjen hauraus. Polyuretaanille on kehitetty useita kierrätysprosesseja, joiden kautta polyuretaani voidaan hyödyntää uudelleen materiaalina polttamisen sijaan (Lee & Ramesh, 2004). Mineraalivillojen prosessointi uudelleenkäyttöön on kehittynyt Suomessa viime vuosina ja EcoUp Oyj on patentoinut toimintaan liittyvää tekniikkaa.

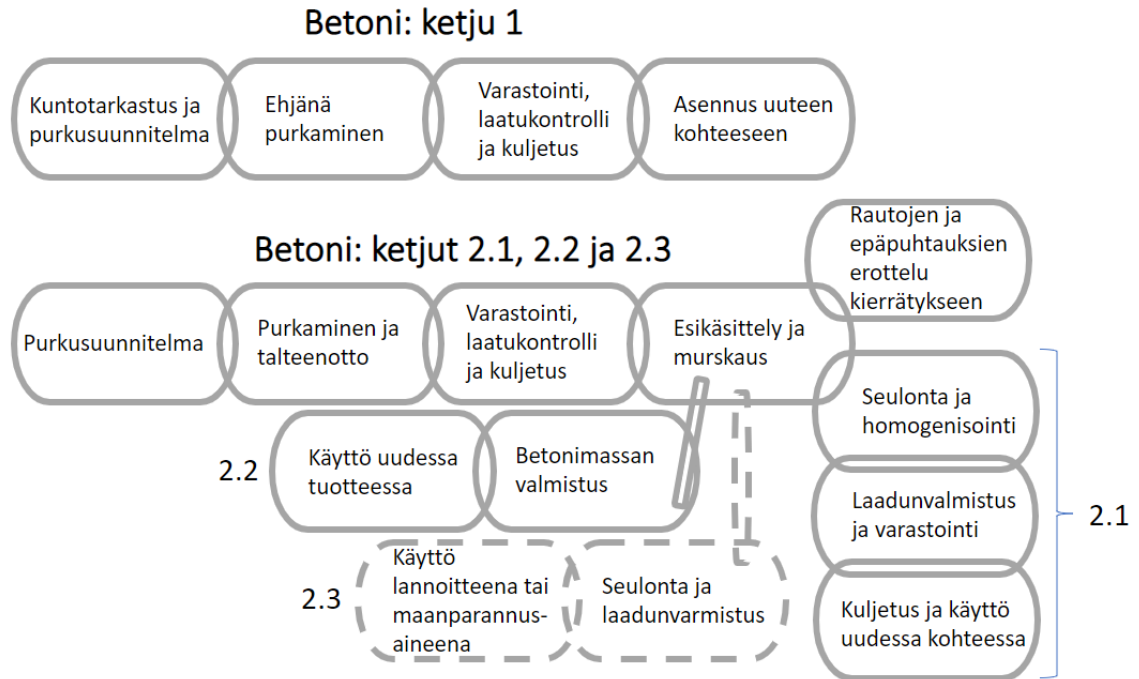
Purkukohteissa, joiden tekninen käyttöikä ei ole vielä päättynyt, on elementtirakenteita ja rakennusosia, joita voidaan hyödyntää sellaisenaan, mikäli ne onnistutaan purkamaan ehjinä. Rakennusten purkutöissä ei viime vuosikymmeninä ole ollut tyypillistä, että osia

pyrittäisiin purkamaan ehjinä uudelleenkäyttöä varten, sillä ehjänä purkaminen lisää kustannuksia ja hidastaa purkutyötä murskaamiseen verrattuna. Ehjänä purkaminen ja uudelleenkäyttö sellaisenaan vaativat tarkkaa suunnittelua sekä vanhan rakennuksen purkuvaiheessa että uuden rakennuksen rakentamisessa. (Zhu et al., 2022) Uusien talojen suunnittelu- ja rakennusvaiheessa on kiertotalouskonseptin ja elinkaariajattelun myötä nykyään mahdollista tehdä suunnitelmallisesti rakennuksen purkamista ja osien sekä materiaalien uudelleenkäyttöä helpottavia päätöksiä. Purkamista ja uudelleenkäyttöä helpottamaan suunnitellut ratkaisut eivät ole tyypillisiä nykyisissä purkukohteissa (Zhu et al., 2022).

Betonielementtien ehjänä purkamisen ja uudelleenkäytön onnistumiseen vaikuttavat monet tekijät, joista osa liittyy purkuosaamiseen ja käytettävään kalustoon ja osa purettavan kohteen sekä uudelleenkäyttökohteen ominaisuuksiin. Esimerkiksi rakenteiden kantavuus, betonilaadun ominaisuudet, viruma, elementtien väliset kiinnitykset ja elementtien koko vaikuttavat purkamiseen (Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus, 2020). Uudelleenkäyttökohteen haluttavat ominaisuudet siihen, millaisia purkamisen yhteydessä syntyneitä vaurioita voidaan pitää hyväksyttävänä. Esimerkiksi autotalleille ja asuinrakennuksille on erilaiset vaatimukset. Ehjänä puretut elementtirakenteet on myös säilytettävä asianmukaisesti sääsuojattuina ja kuljetettava lisävaurioita aiheuttamatta. Koska vanhojen lämmöneristeiden ominaisuudet eivät tekniseltä laadultaan vastaa uusia eristemateriaaleja, voidaan uudelleenkäyttöä varten uudelleen- tai lisäeristää seinäelementtejä, jos niitä käytetään uudelleen asuinrakennuksen ulkoseinissä.

2.3 Betonin ja lämmöneristeiden kiertotalousketjut

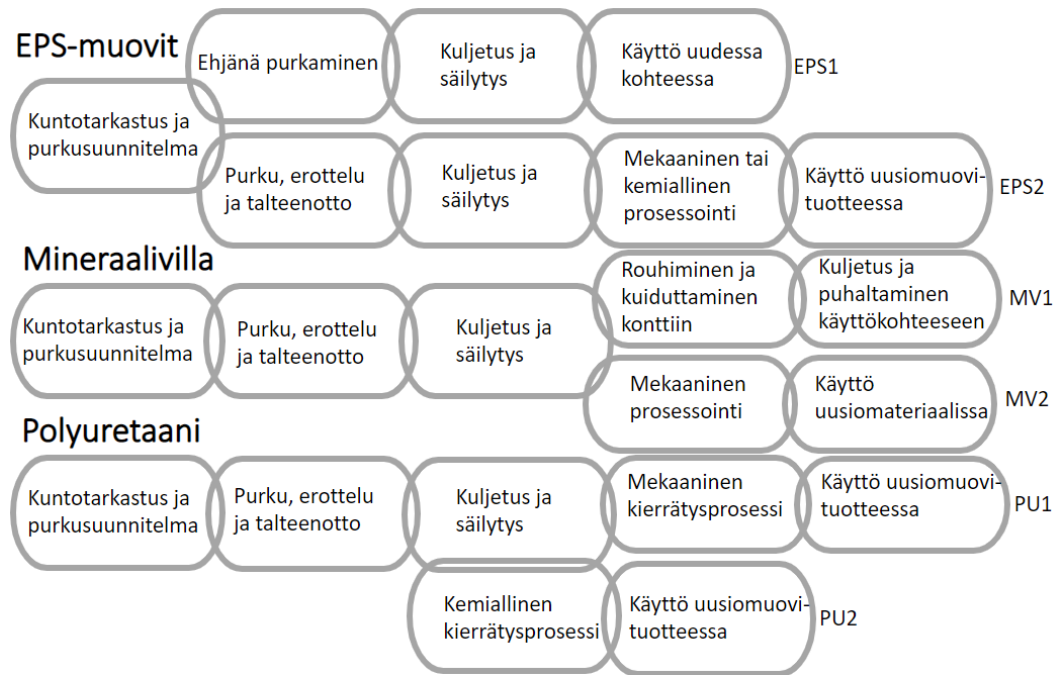
Purkukohteista saatavalle betonille on olemassa useita eri käyttötapoja ja -kohteita, joten materiaalille voidaan erottaa myös erilaisia kiertotalousketjuja. Kuvassa 3 on esitetty vaihtoehtoja purkubetonin kiertotalousketjulle. Ketjut 1, 2.1 ja 2.2 ovat jo käytössä ja Suomesta löytyy niitä hyödyntäviä yrityksiä, mutta ketjun 2.3 mukaista liiketoimintaa ei vielä ole. Tähän vaikuttanee purkubetonin alkuperä, sillä EEJ-asetuksessa määritellyt kierrätysbetonin käyttökohteet eivät ole samat käyttämättömälle ja käytetylle betonille. Käytetyn betonin osalta EEJ-asetus koskee vain käyttöä kiviaineksena uuden betonin valmistuksessa sekä talon- ja maarakentamisessa murskeena. Koska käyttämättömän betonin osalta EEJ-asetus sallii materiaalin hyödyntämisen lannoitteena, kalkitusaineena, maanparannusaineena tai kasvualustana tietyin vaatimuksin, voisi myös purkubetonin käyttöä samassa tarkoituksessa pitää järkevänä samojen vaatimusten täyttyessä. Tämänhetkinen EEJ-asetus ei kuitenkaan salli tätä.



Kuva 3: Betonin kiertotalousketjut. Ketjuissa 1, 2.2 ja 2.3 on esitetty yleisellä tasolla ketjujen vaiheet ilman tiettyä mallitoimijaa, kun taas ketju 2.1 vastaa Rudus Oy:n EEJ-asetuksen mukaisen Betoroc -murskeen valmistusketjua.

Kuvasta 3 nähdään, että riippuen betonin uudelleenkäyttökohteesta sen kiertotalousketju voi sisältää vaihtelevia osia. Kunkin kiertotalousketjuvaihtoehdon osien turvallisuutta tarkasteltaessa on huomioitava betonin ominaisuudet eri tavoin. Hyvä esimerkki tästä on kuljetusvaiheen vertaaminen ketjuissa 1 ja 2, sillä kokonaisina purettujen ja ehjinä säilytettävien elementtien turvallinen kuljetus vaatii merkittävästi enemmän tarkkuutta kuin murskatun betonin kuljettaminen. Vastaavasti ketjussa 2.2 käytettäviä betoniaineksia säädellään EEJ-asetuksessa, sillä jotkin aiemmilla vuosikymmenillä käytetyt betonilaadut sisältävät aineita, joiden käyttö betonin valmistuksessa ei nykyään ole sallittua (EEJ 466/2022).

Kuvassa 4 on esitetty mineraalivillalle, EPS-muoveille ja polyuretaanille mahdollisia kiertotalousketjuja. Eristetyypistä riippumatta talteenottoa tulisi käsitellä purkus suunnitelmassa, jotta materiaalin erilliskeräys voidaan suorittaa sujuvasti. Erilliskeräyksen onnistuminen on olennaista eristeiden kiertotalouspotentiaalin kannalta, sillä erityisen likaisten eristeiden tai pienten eristemäärien kuljettaminen kierrätyslaitokselle ei ole taloudellisesti kannattavaa.



Kuva 4: EPS-muovien, mineraalivillan ja polyuretaanin yleistasoiset kiertolousketjut.

EPS-muovien kemiallista kierrätystä tullaan tekemään Finnfoamin toimesta Salossa, kun loppuvuodesta 2022 valmistuvaksi arvioitu muovinkierrätyslaitos otetaan käyttöön. Laitoksen kemiallisessa prosessissa EPS-muovit liuotetaan, jolloin epäpuhtauksien poistaminen siivilöimällä helpottuu. Siivilöinnin jälkeen liuotin haihdutetaan, jolloin polystyreeni jähmettyy takaisin kiinteään olomuotoon ja se voidaan prosessoida granulaateiksi, joita käytetään raaka-aineena eristetuoannossa. (Finnfoam Oy, 2022)

Mineraalivillaa kierrättää tällä hetkellä Varsinais-Suomessa kiertotalouskonserni EcoUp Oy:n tuotantolaitos, jossa purkukohteista saatavaa mineraalivillaa prosessoidaan uudelleenkäytettäväksi muun muassa sementin, asfaltin ja tiilien valmistuksessa (EcoUp Oy, 2021). Kyseessä on ensimmäinen teollisessa mittakaavassa purkukohteiden mineraalivillaa kierrättävä laitos Suomessa. Saman konsernin alainen Eko-Expert Oy valmisti vuonna 2020 myös mineraalivilla-asennuksissa ylijääneistä leikkuupaloista puhallusvillaa (Jätehuoltoyhdistys ry, 2020), ja samaa kierrätysprosessia voitaisiin tulevaisuudessa modifioida myös purkukohteista saatavan mineraalivillan kierrätykseen soveltuvaksi.

Polyuretaanin kiertotalousketju jaettiin tässä kandidaatintyössä mekaanisten ja kemiallisten kierrätysprosessiluokkien kautta kahteen lopulliseen ketjuun, sillä materiaalin hyödyntämistä energiana ei jätehierarkian sekä kiertotalouden noudattamisen perusteella koettu aiheelliseksi tarkastella. Polyuretaanin mekaanisen prosessoinnin sisältävä ketju, joka kuvassa 4 on esitetty nimellä PU1, voi olla erilainen riippuen valitusta prosessointi-

tavasta. Kehitetyjä mekaanisia prosessointimenetelmiä ovat uudelleenmuotoilu (rebinding), uudelleenhiointa (regrinding), adheesiopuristus (adhesive pressing) ja kompressio- sekä injektio- muovaus (Nikje, 2016). Uudelleenmuotoilussa prosessin haluttu lopputuote, esimerkiksi joogamatto tai pehmuste, muotoillaan sideaineen koossapitämästä silputusta polyuretaanista, kun taas uudelleenhionnassa polyuretaani hienonnetaan jauhemaiseksi ja käytetään uuden polyuretaanin valmistuksessa raaka-aineena. Adheesiopuristusmenetelmä on nopea ja yksinkertainen menetelmä, jossa polyuretaanipartikkelit päällystetään tahmealla sideaineella ja puristetaan muotoon lämmitetyllä puristimella noin 100–200 celsiusasteen lämpötilassa ja 30–200 baarin paineessa. Kompressio- ja injektio- muovauksessa polyuretaanipartikkelit liitetään toisiinsa ilman sideainetta 180 celsiusasteessa ja 350 baarin paineessa, jolloin uusiomateriaali koostuu täysin kierrätetystä polyuretaanista. (Nikje, 2016)

Polyuretaanin kemiallinen prosessointi voidaan mekaanisen prosessoinnin tavoin jakaa useisiin alakategorioihin. Näitä ovat hydrolyysi, aminolyysi ja glykolyysi sekä vähemmän käytetyt hydroglykolyysi ja alkoholiin liuottaminen. Hydroglykolyysin ongelmana on sen hintavuus muihin menetelmiin verrattuna, ja alkoholiin liuottamisen esteenä on usein prosessin kokoluokan kasvattamisen vaikeus. Hydrolyysistä, aminolyysistä ja glykolyysistä saatavia reaktiotuotteita voidaan käyttää uusien polyuretaanimateriaalien valmistuksessa. Glykolyysi on menetelmistä käytetyin. (Nikje, 2016) Polyuretaanin mekaanisen tai kemiallisen kierrättämisen tämänhetkisestä laajuudesta Suomessa ei löytynyt tietoa, joten polyuretaanin kiertotalouden tavoitteellista kehittämistä varten olisi tästä tehtävä selvitys.

3. TURVALLISUUS JA SEN TARKASTELUMENETELMÄT

Tässä luvussa tarkastellaan lyhyesti turvallisuuden ja riskienhallinnan käsitteitä. Tämän jälkeen esitellään kiertotalousketjujen turvallisuustarkasteluja varten valitut menetelmät. Tuvallisuustarkastelun välineeksi valikoitui betonin kiertotalousketjuille pienten ja keskisuurten yritysten haavoittuvuusanalyysi (pk-haava). Menetelmä valittiin sen selkeän rakenteen ja järjestelmällisyyden vuoksi. Eristemateriaaleille valittiin SWOT-analyysi, jonka nähtiin olevan sopivampi työkalu kiertotalousketjujen suunnittelu- ja ensitoteutusvaiheeseen, sillä se tarjoaa runsaasti liikkumavaraa ja kannustaa uusien ratkaisujen kehittämiseen. Eristemateriaalien kiertotalousketjut ovat pitkälti vielä suunnittelu- ja kehitysvaiheessa, kun taas betonille määritetyistä kiertotalousketjuista lähes kaikkia on käytetty Suomessa jo vuosia. Tästä syystä luvussa 4 on suoritettu turvallisuustarkastelu ainoastaan betonin kiertotalousketjuille.

3.1 Turvallisuus ja riskienhallinta

Turvallisuuden käsitteelle on olemassa useita hieman toisistaan poikkeavia määritelmiä, mikä johtuu osittain siitä, että määrittelijän subjektiiviset näkemykset vaikuttavat abstraktin käsitteen määrittelyyn. Esimerkiksi American National Standard Institute määrittelee turvallisuuden yksinkertaisesti tilaksi, jossa sietämätöntä riskiä ei ole läsnä (Hollnagel, 2014), kun taas Sanastokeskuksen termipankin määritelmän mukaan kyseessä on tila, jossa uhkat ja riskit ovat hallinnassa, mutta turvallisuus voi tarkoittaa myös joko toimintaa tai toimintoja, joilla edellä mainittu tila saavutetaan, tai tunnetta siitä, että riskit ovat hallinnassa (Sanastokeskus TSK ry, 2017). Turvallisuudella tarkoitetaan tämän kandidaattityön kontekstissa tilaa, jossa toiminnan riskit on tunnistettu ja ne ovat hallinnassa. Tarkastelussa keskitytään alaluvussa 2.3 määriteltyjen kiertotalousketjujen henkilöille, omaisuudelle tai ympäristölle haitallisten ja vaarallisten tapahtumien tunnistamismenetelmiin ja tunnistettujen riskien hallintaan. Riskienhallinta on toimintaa, joka tähtää riskin poistamiseen tai sen suuruuden minimoimiseen.

3.2 Pienten ja keskisuurten yritysten haavoittuvuusanalyysi

Koska voidaan olettaa, että kiertotalousketjujen toimijat ovat etenkin toiminnan alussa pieniä ja täyttävät pk-yrityksen määritelmän tai vastaavat toimintayksikön koon puolesta pk-yritystä, on pk-haava sopiva työkalu riskien tunnistamiseen. Haavoittuvuusanalyysi

on järjestelmällinen analyysityökalu, jonka tarkoituksena on luoda selkeä kokonaiskuva toimintaan liittyvistä riskeistä (Virolainen et al., 2000). Täysimittainen pk-haava on jaettu kuuteen osa-alueeseen, jotka ovat henkilöt, omaisuus ja keskeytykset, toimintaedellytykset, toiminnan organisointi, sidosryhmät ja talous (Virolainen et al., 2000). Osa-alueet ovat osittain päällekkäisiä, sillä ne vuorovaikuttavat keskenään.

Pk-haavan toteuttaminen sisältää käytännössä yrityksen eri osapuolien keskinäisen ajatustehotomityylinen keskustelun, jossa kukin analyysin kuudesta osa-alueesta käydään läpi mahdollisimman tarkasti. Työhön on kaikkien siihen osallistuvien osapuolten osalta varattava riittävästi aikaa, jotta riskien tunnistaminen saadaan tehtyä perusteellisesti. Riskien tunnistamista helpottamaan on kuhunkin kategoriaan esitetty tiettyjä esimerkki-osa-alueita, joiden avulla kategorioiden järjestelmällinen läpikäyminen helpottuu. (Suomen riskienhallintayhdistys ry, 2023) Kuvassa 5 on esitetty pk-haavan kategoriat osa-alueineen. Esimerkiksi kategoriassa henkilöt on esimerkkiosa-alueiksi annettu tapaturmat, työkyky ja sairastuminen, työpaikanvaihto, henkilövalinnat, osaaminen ja asiantuntijoiden käyttö sekä avoin muut -osa-alue (Räsänen, 2000), johon voidaan sijoittaa esimerkkiosa-alueisiin kuulumattomat henkilöriskit. Muut -osa-alue sisältyy kaikkiin kategorioihin ja tarjoaa liikkumavaraa kategorioiden sisällä.



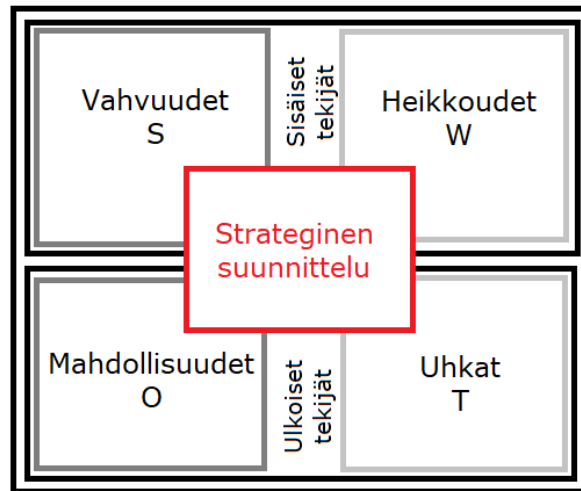
Kuva 5: Riskikartta pienten ja keskisuurten yritysten haavoittuvuusanalyysin kategorioista ja niiden osa-alueista. (Virolainen et al., 2000)

Haavoittuvuusanalyysin toteuttamisessa on kolme vaihetta: riskien tunnistaminen, riskien arviointi ja priorisointi sekä varsinainen riskien hallinta, jossa suunnitellaan kehitystoimenpiteet ja luodaan järjestelmä toimenpiteiden toteutukseen ja seurantaan (Suomen riskienhallintayhdistys ry, 2023). Jatkuva riskienhallintatoiminta yrityksessä sisältää tämän kolmivaiheisen ketjun kahden viimeisen osan riskikohtaista uudelleentekemistä: kun riskin hallintaa varten päätetyt toimenpiteet on tehty, voidaan toimenpiteiden vaikutusta arvioida ja edelleen päättää tarvitaanko jatkotoimenpiteitä. Suomen riskienhallintayhdistys ry on koonnut pk-yritysten käyttöön apuvälineitä pk-haavan toteuttamista varten ja nämä sisältävät riskikarttoja, ohjeita riskien suuruuden arviointiin ja hallintatoimenpiteistä päättämiseen sekä yhteenvetolomakkeen.

Kiertotalousketjujen eri osista vastaavat todennäköisesti eri yritykset sen sijaan, että yksi yritys hoitaisi toimintaketjun kaikki osat purku-urakoinnista materiaalin uuteen käyttökohteeseen asti. Tästä syystä ketjun eri osien turvallisuutta tarkasteltaessa voi olla syytä painottaa pk-haavan eri osa-alueita. Tässä kandidaatintyössä ei uloteta tarkastelua kiertotalousketjujen eri osissa toimivien yritysten taloudelliseen toimintaympäristöön vaan oletetaan liiketoiminnan taloudellisen puolen olevan kunnossa, joten pk-haavan talousosio jätetään huomiotta. Merkittävä huomio on myös se, että toimintaketjun koostuessa useiden eri yritysten alaisuudessa tehtävästä työstä on käytännön riskienhallinnan kannalta olennaista, että kukin toimintaketjuun osallistuva yritys hoitaa itse riskienhallintaansa asiantuntevasti. Lähes kaikkiin kiertotalousketjuihin osallistuu useiden eri toimialojen yrityksiä, joten yritysten toiminnot poikkeavat merkittävästi toisistaan. Kiertotalousketjun toimintavarmuus saavutetaan vasta, kun ketjun jokaisen lenkin riskienhallinta on toimivaa. Pk-haava on analyysityökaluna varsin mukautuva, joten se sopii sovellettavaksi kussakin kiertotalousketjuun osallistuvassa yrityksessä sen toimialasta riippumatta.

3.3 SWOT-analyysi

SWOT-analyysi on moniulotteinen strategisen analyysin työkalu, jota käytetään eniten yritysten päätöksentekovälineenä sekä markkina-analyyseissä (Speth & Probert, 2015). Malli tunnetaan myös nelikenttäanalyysinä, sillä menetelmässä jaetaan kohteen ominaisuudet neljään mahdollisen kategoriaan, joiden englanninkielisistä nimistä SWOT-akronyymi on muodostettu. Nämä kategoriat ovat vahvuudet (Strengths), heikkoudet (Weaknesses), mahdollisuudet (Opportunities) ja uhkat (Threats). Vahvuudet ja heikkoudet ovat kohteen sisäisiä ominaisuuksia, kun taas mahdollisuuksiin ja uhkiin vaikuttavat ulkoiset tekijät (Speth & Probert, 2015). Kuvassa 6 on havainnollistettu SWOT-analyysin osa-aluejako ja kategorioihin vaikuttavat tekijät.



Kuva 6: SWOT-analyysin osa-alueet sekä niihin vaikuttavat tekijät. Adaptoitu lähteestä Speth & Probert, 2015.

Vahvuudet ovat kohteen ominaisuuksia, joilla on positiivinen vaikutus sen kehitykseen ja kilpailukykyyn (Speth & Probert, 2015), tai turvallisuusnäkökulmasta katsottuna esimerkiksi työturvallisuuteen tai yrityksen turvallisuuskulttuuriin. Heikkoudet puolestaan ovat kohteen ominaisuuksia, joiden vaikutus näihin tekijöihin on negatiivinen. Mahdollisuudet riippuvat ulkoisista tekijöistä ja niitä voidaan hyödyntää kehityksen ja kilpailukyvyn sekä turvallisuuden parantamisessa (Speth & Probert, 2015). Vastaavasti uhkat ovat ulkoisia tekijöitä, jotka voivat vaikuttaa negatiivisesti kohteen toimintaan, mikäli niitä ei havaita ajoissa ja onnistuta torjumaan tai pienentämään.

SWOT-analyysin strateginen ja toimintaa kehittämään pyrkivä luonne tekee siitä hyvän välineen täysin uusien liiketoimintojen analysoimiseen. Menetelmässä kohteen nykytilaa tarkastellaan sen tulevaisuuden kannalta (Speth & Probert, 2015), mikä auttaa hahmotamaan vaihtoehtoisia kehittämismahdollisuuksia. Riskejä tunnistetaan etenkin heikkouksien ja uhkien kategorioissa, mutta toisaalta myös esimerkiksi vahvuuksien tai mahdollisuuksien pieni määrä voi itsessään olla riski toiminnan kannalta. Lämmöneristeiden kiertotalousketjut eivät vielä ole vakiintuneita toimintoja eikä niistä kaikkia ole otettu käyttöön, joten niistä ei tästä syystä ole saatavilla merkittävästi tietoa. Strategista suunnittelua varten toiminnoille tulisi suorittaa kattavat SWOT-analyysit toiminnan harjoittajan tai kehittäjän puolesta toimintaa aloitettaessa, mutta tässä kandidaatintyössä päätettiin tiedon saatavuuden rajallisuuden vuoksi jättää näiden kiertotalousketjujen SWOT-analyysit tekemättä. Lämmöneristeiden kierrätystä harjoittavien laitosten prosessitason turvallisuuden tutkiminen olisi tulevaisuudessa tärkeää etenkin työtapaturmien ja muiden fyysisten riskien ennaltaehkäisemiseksi sekä liiketoiminnan jatkuvuuden varmistamiseksi.

4. TURVALLISUUS KIEROTALOUSKETJUJEN ERI OSISSA

Tässä luvussa suoritetaan esimerkkihakuisesti suppeat haavoittuvuusanalyysit betonin kiertotalousketjuille. Yritystasolla tehtävät haavoittuvuusanalyysit ovat merkittävästi kattavampia ja niiden tavoitteena on tunnistaa mahdollisimman suuri osa toimintaan liittyvistä riskeistä, mutta kandidaatintyön laajuuden puitteissa täysimittaisten haavoittuvuusanalyysien tekeminen ei koettu mahdolliseksi. Täysimittaisiin haavoittuvuusanalyysiin tarvitaan myös yrityskohtaista dataa, jota tässä kirjallisuuteen pohjautuvassa työssä ei hyödynnetty.

4.1 Betonin kiertotalousketjujen suppeat haavoittuvuusanalyysit

Betonille esitettiin alaluvussa 2.3 neljä vaihtoehtoista kiertotalousketjua. Ketju 1 kuvaa sellaisenaan uusiokäytettävien betonielementtien tai muiden osien, kuten palkkien, kiertotalousketjua purkusuunnittelusta uuteen käyttökohteeseen. Ketjussa 1 on muista ketjuista poiketen vain neljä osaa. Ensimmäisenä kaikissa ketjuissa laaditaan kohteen purkusuunnitelma ja ketjussa 1 tämän ohella tehdään myös kuntotarkastus.

4.2.1 Betonin 1 ketju

Purkupalvelun tarjoaja tekee lopullisen purkusuunnitelman hyödyntäen kohteesta tehtyjä materiaali- ja haitta-ainekartoituksia sekä tietoja rakennuksen kantavista rakenteista ja mahdollisista purkamisen aikaisista tuentatarpeista (Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus, 2020). Betoni saattaa sisältää haitta-aineita, joten kohteen materiaaleja kartoitettaessa tulisi suorittaa pitoisuus- ja liukoisuustutkimukset. Purkutyön tilaajan tehtävä on valvoa, että työ suoritetaan annettujen tavoitteiden ja suunnitelmien puitteissa lupamääräyksiä noudattaen. Kunnan rakennusvalvontaviranomainen antaa purkamisluvan ja valvoo, että purkutyö vastaa rakennuslainsäädäntöä (Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus, 2020).

Kuntotarkastuksen ja purkusuunnitelman laatimisen sisältämät riskit liittyvät lähinnä lainsäädännön noudattamiseen ja sijoittuvat siten pk-haavan toiminnan organisoimisiin ja sidosryhmien kategorioihin. Toisaalta purkusuunnittelussa tehdyt virheet voivat heijastua kiertotalousketjun myöhempisiin vaiheisiin. Esimerkiksi huonosta suunnittelusta johtuva rakenteiden riittämätön tukeminen purkamisen aikana voi aiheuttaa vaaratilanteita pur-

kutyömaalla tai haitta-ainekartoituksen vajavuus tai tekemättä jättäminen saattaa aiheuttaa lainsäädännöllisiä tai työn viivästymiseen liittyviä ongelmia betonielementtien käytölle uudessa kohteessa.

Ketjussa 1 siirrytään purkusuunnitelman jälkeen ehjänä purkamisen vaiheeseen, jonka suorittaa purku-urakoitsija. Vastuu työmaan henkilökunnan ja aliurakoitsijoiden työsuorituksesta ja työturvallisuudesta kuuluu purku-urakoitsijalle ja tarpeen mukaan myös kunnan rakennustarkastajat ja työsuojeluviranomaiset voivat suorittaa kohteessa valvontatarkastuksia (Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus, 2020). Jätehuoltoa sekä pölyn- ja melunhallintaa työmaalla valvotaan ympäristönsuojeluviranomaisen toimesta (Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus, 2020).

Ehjänä purkamiseen liittyy samankaltaisia työturvallisuusriskejä kuin uusiin rakennushankkeisiin, joissa asennetaan painavia elementtejä. Niin asennus- kuin asennuksen purkutilanteisiin liittyy elementin kaatumisen ja sen alle jäämisen riski, joka voidaan minimoida huolellisella työskentelyllä sekä tarkoituksenmukaisilla työvälineillä ja -tavoilla. Ehjänä puretut betonielementit on siirrettävä varastointipaikkaan ja suojattava säältä etenkin, jos niitä on suunniteltu käytettäväksi talonrakentamisessa eikä esimerkiksi autotallissa. Sandwich-elementteihin integroitujen lämmöneristeiden poistaminen ja erilliskerääminen tulisi suorittaa tässä vaiheessa, mikäli eristemateriaalia ei aiota enää hyödyntää sellaisenaan elementissä. 1960–70-luvuilla rakennetuissa taloissa asbestin käyttö on ollut yleistä, joten asbestikartoitus on pakollinen ja asbestin löytyessä sen purkutyöstä on tehtävä ilmoitus työsuojeluhallinnolle (Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus, 2020).

Purkutyömaalla merkittävimmät riskit löytyvät pk-haavan henkilöstökategoriasta, sillä työmaaolosuhteisiin liittyy paljon erilaisia fyysistä terveyttä uhkaavia tekijöitä, jotka voivat johtaa muun muassa kompastumisiin ja kaatumisiin, putoamisiin, puristumisvammoihin tai haavoihin. Fyysiset riskitekijät on arvioitava purkutyömaakohtaisesti ja arvioinnin tulisi olla jatkuvaa, sillä muutoksia tapahtuu usein nopeasti. Esimerkiksi siisteyteen ja järjestykseen sekä tarvittavien henkilösuojaimien käyttöön ja tiedonkulun onnistumiseen panostaminen ovat tärkeässä roolissa ennaltaehkäistävässä olevien työtaturmien torjunnassa. Jokaisen työntekijän tulisi osaltaan pyrkiä edistämään työympäristön turvallisuutta omalla käytöksellään (Työsuojeluhallinnon verkkopalvelu, 2022). Sujuvalla tiedonkululla varmistetaan, että kaikki työmaalla työskentelevät ovat tietoisia turvallisuustilanteesta tapahtuneista muutoksista ja osaavat huomioida uudet tai muuttuneet riskitekijät työssään. Tiedonkulkua saattavat hankaloittaa esimerkiksi vuoronjohdon kokemattomuus tai kielimuuri, ja myös tällaiset toiminnan organisointiin liittyvät tekijät on osattava

huomioida, kun kohteessa tehdään haavoittuvuusanalyysia. Jos työmaalla on aliurakoitsijoita, on myös heille viestittävä turvallisuusasioista (Työsuojeluhallinnon verkkopalvelu, 2022). Toimintaedellytysten kategoria on myös merkittävä purkutyömaan toiminnan kannalta ennen kaikkea käytettävien koneiden ja laitteiden tarkoituksenmukaisuuden ja kunnon sekä toimintavarmuuden vuoksi.

Ketjun 1 varastoinnin, laatukontrollin ja kuljetuksen osaan liittyvät riskit edustavat pääosin pk-haavan sidosryhmien, toiminnan organisoinnin ja toimintaedellytysten kategorioita. Laatukontrollissa varmistetaan, että elementit ovat säilyneet uudelleenkäytön vaatimassa kunnossa ja ne vastaavat purkusuunnitelmassa tehtyjä oletuksia (Zhu et al., 2022). Tällä säästytään ongelmilta ja mahdollisilta betonin murtumisen aiheuttamilta vaaratilanteilta uudelleenasennusvaiheessa. Lisäksi minimoidaan elementtien eteenpäin luovuttamiseen tai myymiseen liittyvä riski tuotteen myöhemmin paljastuvista vioista (Zhu et al., 2022). Varastointi tulee suorittaa siten, että esimerkiksi elementtien kaatumisen vaaraa ei ole. Varsinaisesti sääsuojaa tarvitsemattomien, ulkokäyttöön menevien betonikappaleiden varastoinnissa on huomioitava mahdollinen kastumisen aiheuttama painon nousu, joka saattaa vaikuttaa kuljetusvaiheeseen.

Ehjänä puretut elementit toimittaa uuteen rakennuskohteeseen todennäköisesti erillinen kuljetusyritys, jonka kanssa on varmistettava turvallinen ja elementtejä vahingoittamaton kuljetus. Jos elementit vaurioituvat kuljetuksessa liikenneonnettomuuden tai kuljetusvahingon seurauksena, tuotteen laatu kärsii eikä se välttämättä ole enää käyttökelpoinen. Tästä syystä sopimus- ja vastuuasioiden on oltava kunnossa kuljetusyrittäjän ja vakuutusyhtiön kanssa. Elementtien kuljettaminen itsessään ei ole uusi toiminto, joten vakiintuneita käytäntöjä ja turvallisia toimintatapoja sekä kokeneita kuljetusalan toimijoita on jo olemassa, eikä kuljettamisen merkittävä turvallisuustarkastelu ole tästä syystä mielekäästä. Elementtikuljetusten turvallisuustarkastelun tulisi sisältyä kuljetusyrittäjän sisäiseen pk-haavaan ja koska kuljettaminen on yrityksen toimialaa, siihen liittyvät kaikki pk-haavan kategoriat.

Ketjun 1 viimeisenä osana on elementin tai muun betoniosan asentaminen uuteen käyttökohteeseen. Tämän ketjun osan olennaisimmat riskit riippuvat uuden käyttökohteen luonteesta. Kuljettamisen tapaan myös asennusvaihe on pitkään käytössä ollut toiminto, jonka työtavat ovat vakiintuneita käytäntöjä. Ammattimaisten työntekijöiden ja soveltuvan sekä hyväkuntoisen kaluston ja työvälineiden käyttö auttaa minimoimaan työmaan fyysiset riskit (Työsuojeluhallinnon verkkopalvelu, 2022). Ketjun tämän osan turvallisuudesta on vastuussa kohdetta rakentava toimija, ja merkittävimmät riskit löytyvät purkutyömaan tapaan todennäköisesti henkilöiden ja toimintaedellytysten kategorioista.

4.2.2 Betonin 2 ketjut

Betonin toinen kiertotalousketju jaettiin alaluvussa 2.3 kolmeen eri osaan riippuen siitä, mitä betoniainekselle tehdään esikäsitteilyn ja murskauksen jälkeen. Kaikki kolme ketjua sisältävät aluksi samat neljä vaihetta, joista ensimmäinen on ketjun 1 yhteydessä käsitelty purkus suunnitelma. Toisessa vaiheessa suoritetaan purkaminen ja talteenotto, mikä poikkeaa merkittävästi ketjun 1 ehjänä purkamisesta, sillä materiaalin jatkoprosessointi vaatii elementtirakenteen eri osien erottamista toisistaan niin, että betoni saadaan talteen mahdollisimman puhtaana. Purkutyössä käytetään eri välineitä kuin ehjänä purkamisessa ja koska purkaminen voidaan suorittaa ilman rakenteiden ehjänä säilyttämistä, on purkutyö huomattavasti nopeampaa 2-ketjuissa. Merkittävimmät riskit löytyvät myös 2 ketjun purkutyömailta todennäköisesti pk-haavan henkilöt ja toimintaedellytykset kategoriaisista. Poikkeavuutena ketjun 1 purkutyömaahan on se, että kun elementtejä ei pureta ehjänä on mahdollista, että työmaalla on enemmän purkutyössä syntyvää pölyä eikä työmaan siisteystaso välttämättä ole turvallisuutta edistävää. Työntekijöiden suojavarusteiden tarkoituksenmukaisuuteen ja kuntoon on panostettava, ja työmaalla olevista mahdollisesti vaarallisista paikoista on kerrottava jokaiselle alueella liikkuvalla (Työsuojeluhallinnon verkkopalvelu, 2022). Tämän lisäksi esimerkiksi putoamisvaaran sisältävät paikat tulisi merkitä selkeästi tai eristää. Purkamisessa on myös huomioitava purkus suunnitelman mukaisesti kantavien rakenteiden sijainti (Zhu et al., 2022) ja oltava vahingoittamatta niitä ennen ei-kantavien rakenteiden purkamista, jotta sortumavaara voidaan välttää.

Kun purkaminen ja betonin erottelu muusta purkumateriaalista on suoritettu, siirrytään mahdolliseen varastointiin, laatukontrolliin ja kuljetukseen. Laatukontrollissa selvitetään, soveltuuko kohteen purkubetoni sille suunniteltuun jatkokäyttöön joko murskeena tai uusiobetonin valmistuksessa. 2 ketjujen purkubetonin varastointi ei vaadi samanlaista tarkkuutta kuin 1 ketjussa, mutta etenkin pidempiaikaisessa varastoinnissa tulee silti huomioida mahdollinen sääsuojan tarve. Sääsuojan tarpeeseen vaikuttavat ympäristönäkökulmasta purkus suunnitelmaa varten tehdyt pitoisuus- ja liukoisuusmittaukset (Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus, 2020), sillä sadevesi saattaa liuottaa purkubetonista aineita, joiden päätyminen hulevesiin halutaan estää. Varastointia saattaa tapahtua sekä purkutyömaalla että kuljetuksen jälkeen murskaamalla. Kuljetusvaihe on 2 ketjuissa yksinkertaisempi kuin 1 ketjussa eikä se vaadi samanlaista varovaisuutta ja tarkkuutta kuin ehjien elementtien kuljettaminen.

Kun purkubetoni saapuu murskaamolle, sille voidaan suorittaa murskaukseen valmistava esikäsittely. Tämä saattaa sisältää esimerkiksi muiden materiaalien poistamista betonin joukosta tai esimurskausta. (Rudus Oy, 2017) Varsinaisessa murskauksessa purkubetoni murskataan mekaanisesti haluttuun raekokoon, joka riippuu sen jatkokäyttökohteesta. Elementtien sisältämät raudat ja mahdolliset muut epäpuhtaudet erotellaan kierrätykseen viimeistään tässä vaiheessa (Rudus Oy, 2017). Murskaamon turvallisuus liittyy työmaiden tapaan olennaisesti pk-haavan henkilökategoriaan sekä toimintaedellytyksiin, mutta myös omaisuuteen ja keskeytyksiin. Murskauksen yhteydessä syntyy todennäköisesti merkittävä määrä betonipölyä, jolta työntekijöiden on suojauduttava henkilösuojaimilla. Myös melulta on suojauduttava kuulosuojaimilla. Alueilla, joilla liikkuu sekä työntekijöitä jalan että raskasta betoniaineksen kuljettamiseen käytettävää kalustoa on huomioitava ajoneuvojen alle jäämisen riski ja minimoitava se esimerkiksi selkeillä kulku- ja ajoväylillä sekä huomioliiveillä. Toimintaedellytysten ja keskeytysten kategorioiden riskeihin liittyvät kalustoon ja laitteisiin sekä niiden toimintavarmuuteen liittyvät riskit, ja niitä voidaan hallita asianmukaisella huoltamisella sekä tarvittaessa investoimalla uusiin koneisiin.

Murskausvaiheen jälkeen yhtenäisesti alkanut 2 ketju eriytyy ketjuihin 2.1, 2.2 ja 2.3. Ketjussa 2.1 suoritetaan seuraavaksi seulonta ja homogenisointi, jotka ovat käytännössä mekaanisesti suoritettavaa murskatun betoniaineksen lajittelua, joka tehdään koneellisesti murskaamalla (Rudus Oy, 2017). Turvallisuusvastuut kuuluvat edelleen samalle toiminnanharjoittajalle kuin murskausvaiheessa, ja työvaiheen riskit voidaan lukea osaksi murskaamistoiminnan riskejä, sillä kyse on jatkokäsittelystä. Seulonnan ja homogenisoinnin päätteeksi murske on valmis tuote, jolle tehdään laadunvarmistus ja jota varastoidaan, kunnes murske kuljetetaan käyttökohteeseensa (Rudus Oy, 2017). Varastoinnin turvallisuutta koskevat samat ympäristöhuomiot kuin ennen murskaamista tehdessä varastoinnissa ja vastaavasti kuljetuksen turvallisuuteen pätevät 2 ketjun aieman kuljetuksen yhteydessä käsitellyt riskienhallintatavat. EEJ-asetuksen mukaista betonimursketta ei saa käyttää pohjaveden pinnan alapuolelle ulottuvissa rakenteissa (EEJ 466/2022).

Ketjussa 2.2 betonimursketta hyödynnetään uuden betonin raaka-aineena. Mikäli betonimurskaamo ja murskattua betonia hyödyntävä betoniasema eivät ole samassa paikassa, sisältyy ketjuun ylimääräinen kuljetusvaihe. Betonin valmistusta ohjataan Suomessa SFS-EN 206 ja SFS7022 standardeilla. Betoniasemalla raaka-aineena käytettävää betonimursketta voidaan varastoida siloissa tai maataskuissa, joista hihnakuljetin siirtää aineksen sementtisiiloon (Suomen Betoniyhdistys ry, 2023). Eri raaka-aineet pun-

nitaan sekä sekoitetaan keskenään sekoittimessa, jonne lisätään myös prosessissa tarvittavat lisäaineet sekä vesi (Suomen Betoniyhdistys ry, 2023). Betoniasema voi olla myös yksinkertaisempi sekä pienempi työmaa-asema, mutta purkubetonimurskeen hyödyntämisen voidaan olettaa tapahtuvan suurilla valmisbetonilaitoksilla pienen mittakaavan työmaa-asemien sijaan. Tämä johtuu valmistusprosessien raaka-ainevaatimuksista sekä siitä, että pienehköä määrää betonimursketta ei ole järkevää kuljettaa pitkiä matkoja työmaa-asemille.

Betoninvalmistusprosessissa on huomioitava kuhunkin prosessin osaan liittyvät turvallisuustekijät. Hallintaa vaativia riskejä löytyy etenkin pk-haavan henkilöt, toimintaedellytykset, sidosryhmät sekä omaisuus ja keskeytykset -kategorioista. Henkilöt -kategoriasa on esimerkiksi olennaista huomioida laitoksen työntekijöiden osaamistaso (Räsänen, 2000) ja pyrittävä siihen, että prosessin ohjaus ja hoito sekä huolto hoidetaan ammattimaisesti myös esimerkiksi sairauspoissaolojen aikana. Toimintaedellytysten kategoriassa niin toiminnan kuin työturvallisuudenkin kannalta merkittäviä riskejä liittyy muun muassa raaka- ja apuaineiden käyttöön sekä prosessin koneiden ja laitteiden toimintakykyyn. Sidosryhmien kategoriassa on työturvallisuuden vuoksi huomioitava sementti- sekä betoninkuljetusautojen ja muiden, mahdollisesti betoniasemayrityksen ulkopuolisille toimijoille kuuluvien, raskaiden ajoneuvojen liikennöinnin järjestäminen betoniaseman alueella. Alihankkijoiden ja asiakasyritysten henkilöiden työturvallisuudesta betoniasemalla voidaan huolehtia esimerkiksi turvallisuusperehdytyksillä. Omaisuus ja keskeytykset -kategorian riskejä voidaan hallita esimerkiksi vuotovahinkojen tai tulipalojen kaltaisiin tapaturmiin ja laiterikkoihin varautumalla sekä pyrkimällä niiden ennaltaehkäisemiseen teknisillä ratkaisuilla, riittävällä laitehuollolla ja varmistamalla, että henkilökunta osaa toimia poikkeustilanteissa.

Ketjun 2.3 käyttö tulevaisuudessa vaatisi olemassa olevan EEJ-asetuksen muuttamista. Tätä varten tarvittaisiin lisää tutkimusta erilaisten purkubetonilaatujen koostumuksesta sekä soveltuvuudesta maanparannusaineeksi. Nykyinen EEJ-asetus sallii vain muissa kohteissa käyttämättömän betonin maanparannusainekäytön, mikä johtuu osaltaan siitä, että uuden betonin koostumus tunnetaan sen valmistamiseen käytettyjen raaka-aineiden tuntemuksen pohjalta. Purkubetonin koostumusta ei useimmissa tapauksissa tunneta yhtä tarkasti, eikä sen homogeenisyydestäkään voida olla täysin varmoja. Koska purkubetonille on jo olemassa useampia muita käyttökelpoisia kiertotalousketjuja ja maanparannusainekäyttöön voidaan käyttää betonintuotannossa syystä tai toisesta yli jääneitä, turvallisiksi tiedettyjä betoniaineksia, betonin 2.3 ketjun kehitystyö ei välttämättä ole taloudellisesti mielekäästä.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli selvittää millaisia osia betonin ja lämmöneristeiden kiertotalousketjuissa on sekä millaisia riskejä näihin kiertotalousketjujen osiin voi liittyä. Lisäksi haluttiin tarkastella mitä riskienhallintamenetelmiä erityyppisille kiertotalousketjuille tulisi käyttää. Kiertotalousketju määriteltiin työn kontekstissa tuotteen tai materiaalin elinkaaren tietyksi osaksi, kun sen elinkaari noudattaa kiertotalouskonseptia. Koska tarkastelukohteena olivat purkukohteista saatavat materiaaliavirrat, sidottiin ketjun alku kohteen purkamiseen eikä materiaalien raaka-aineiden hankintaan ja purettavan tuotteen valmistukseen.

Työssä onnistuttiin määrittämään sekä betonille että tarkastelluille lämmöneristetyypeille kiertotalousketjut. Betonin osalta kiertotalousketjujen määrittäminen oli huomattavasti helpompaa kuin lämmöneristeiden kohdalla. Betonille löytyi kolme Suomessa jo vakiintuneessa käytössä olevaa kiertotalousketjua sekä yksi tutkimuksen ja sen pohjalta lainsäädännön muutoksen myötä tulevaisuudessa mahdollinen ketju. Talonrakennuksessa käytettävistä lämmöneristeistä tarkasteltiin tyypillisimpiä betonielementteihin integroitua tai niiden yhteydessä käytettäviä eristemateriaaleja, jotka ovat EPS-muovit, mineraalivilla sekä polyuretaani. Näistä jokaiselle kyettiin määrittämään 2 yleistasoista kiertotalousketjua, joissa ei jaoteltu laitostason kierrätysprosessien osia erikseen kiertotalousketjun osiksi. Tähän vaikutti merkittävästi kierrätysprosesseista saatavilla olevan tiedon vähyyden, joka johtuu osaltaan siitä, että prosessit ovat suurilta osin tutkimus- ja kehitysvaiheessa eikä toimintaa harjoittavia laitoksia vielä ole Suomessa.

Betonin kiertotalousketjujen turvallisuustarkastelun menetelmäksi valittiin pienten ja keskisuurten yritysten haavoittuvuusanalyysi menetelmän selkeyden ja helppokäyttöisyyden vuoksi sekä siksi, että kiertotalousketjujen eri osiin osallistuvien yritysten voitiin olettaa kooltaan vastaavan pk-yrityksiä. Betonin kiertotalousketjujen eri osista löydettiin sekä ketjuspesifejä että useammille ketjuille tai ketjujen osille yhteisiä riskejä. Tyypillisiä useammille betonin ketjuille yhteisiä riskejä olivat muun muassa purkamisvaiheen työturvallisuuteen liittyvät riskit, kun taas esimerkiksi kuljetusvaiheen riskeihin vaikutti purkamistapa eli elementtien ehjyys tai murskautuneisuus. Kandidaatintyön laajuuden puitteissa ei ollut mahdollista suorittaa kiertotalousketjuille yksityiskohtaisia haavoittuvuusanalyyskejä, mutta haavoittuvuusanalyysi todettiin kuitenkin käyttökelpoiseksi työkaluksi betonin kiertotalousketjujen eri osien riskien tunnistamiseen. Näin ollen haavoittuvuusanalyysin käyttäminen betoninkiertotalousketjuihin osallistuvissa yrityksissä voidaan nähdä turvallisuutta edistävänä toimenpiteenä.

Lämmöneristeiden kiertotalousketjuissa ei toistaiseksi ole betonin tapaan laajalti vakiintuneita toimintoja, eikä Suomessa ole toteutettu tässä työssä määritellyjä kiertotalousketjuja yksittäisiä poikkeuksia lukuun ottamatta. Toimintojen uutuudesta ja laitosmittaavaan toteutukseen vaadittavasta kehitystyöstä johtuen SWOT-analyysi koettiin lämmöneristeiden kiertotalousketjuille haavoittuvuusanalyysiä sopivammaksi riskienhallintamenetelmäksi. Luotettavan tiedon vähäisyyden vuoksi ja toisaalta työn laajuuden rajaamiseksi kiertotalousketjuille ei suoritettu SWOT-analyysia, mutta menetelmän käyttö etenkin eristemateriaalien kierrätyslaitosten rakentamisen ja prosessien suunnittelun yhteydessä nähtiin työturvallisuuden ja yritystoiminnan jatkuvuuden kannalta hyödylliseksi.

Purkubetonin kiertotalous Suomessa koki merkittävän edistyksen EEJ-asetuksen myötä vuonna 2022 ja betonin käyttöön vakiintuneiden kiertotalousketjujen turvallisuus on hallittavissa yritys- ja toimintokohtaisella riskienhallinnalla. Suomessa purkukohteiden lämmöneristemateriaalien kiertotalouspotentialin turvallinen hyödyntäminen vaatisi lisää tutkimusta, tunnettujen kierrätysprosessien laajamittaista käyttöönottoa ja tässä yhteydessä tehtävää turvallisuussuunnittelua sekä mahdollisesti taloudellisia ohjauskeinoja uusien eristemateriaalien alhaisesta hinnasta johtuen.

LÄHTEET

- Cheshire, D. (2016) *Building Revolutions: Applying the Circular Economy to the Built Environment*. London: RIBA Publications.
- EcoUp Oy. (2021) Rakennusala ottaa ekologisen jättiläpauksen. Blogi. Luettu 10.2.2023. Saatavilla: <https://ecoup.fi/1028-2/>
- EEJ 466/2022. Valtioneuvoston asetus betonimurskeen jätteeksi luokittelun päättymisen arviointiperusteista.
- Ellis, L. D. et al. (2020) Toward electrochemical synthesis of cement—An electrolyzer-based process for decarbonating CaCO₃ while producing useful gas streams. *Proceedings of the National Academy of Sciences - PNAS*. [Online] Vol. 117 (23), 12584–12591.
- Euroopan komissio. (2020) Uusi kiertotalouden toimintasuunnitelma. Euroopan komission tiedonanto. EUR-lex 52020DC0098. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0098&from=EN>
- Finfoam Oy. (2022) Kemiallinen kierrätys. Verkkosivu. Luettu 10.2.2023. Saatavilla: <https://www.finfoam.fi/vastuullisuus/kiertotalous-materiaali-ja-resurssitehokkuus/kemiallinen-kierratys>
- HE 139/2022. Hallituksen esitys eduskunnalle rakentamislainsäädännön muuttamisesta ja siihen liittyviksi laeiksi, 4.1.2.
- Hollnagel, E. (2014) *Safety-I and safety-II: the past and future of safety management*. 1st edition. [Online]. Farnham: Ashgate Publishing Ltd.
- Huuhka, S. & Lahdensivu, J. (2016) Statistical and geographical study on demolished buildings. *Building research and information: the international journal of research, development and demonstration*. [Online] Vol. 44 (1), 73-96.
- Jätehuoltoyhdistys ry. (2020) Rakennusjätteen seassa muhii puhdasta eristevillaa. Blogi. Luettu 10.2.2023. Saatavilla: <https://jatehuoltoyhdistys.fi/rakennusjätteen-seassa-muhii-puhdasta-eristevillaa/>
- Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus. (2020) Purkutyön pikaopas työn tilaajalle: Purkuhankkeen suunnittelu, toteutus ja jätteiden hyödyntäminen. Opas 5. Etelä-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. ISSN 2242-2935 (verkkójulkaisu)
- Korhonen, J., Honkasalo, A., Seppälä, J. (2018) Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological economics*. [Online] 143. 37–46.

- Lee, S. T. & Ramesh, N. S. (2004) *Polymeric foams: mechanisms and materials*. Boca Raton: CRC Press.
- Mäkiö, E., Malinen, M., Neuvonen, P., Vikström, K., Mäenpää, R., Saarenpää, J., Tähti, E. (1994) *Kerrostalot 1960–1975*. Helsinki: Rakennustietosäätiö ja Rakennustieto Oy.
- Neuvonen, P. & Hieta-Wilkman, S. (2015) *Kerrostalot 1975–2000*. Helsinki: Rakennustieto.
- Nikje, M. A. (2016) *Recycling of polyurethane wastes*. Shrewsbury: Smithers Rapra.
- Rakennustieto Oy. (2002) *Betoniset julkisivurakenteet*. RT 82-10766.
- Rakennustietosäätiö & LVI-Keskusliitto. (2008) KH 90-00403/LVI 01-10424. Ohjetiedosto.
- Rudus Oy. (2017) *Betoroc®-murskeohje 1/2017*. Käyttöohje rakentamiseen ja suunnitteluun. (verkkójulkaisu)
- Räsänen, T. (2000) *Pk-yrityksen henkilöriskit*. Pk-yrityksen riskienhallinnan työväline-sarja, PK-RH-hanke. (verkkójulkaisu)
- Sanastokeskus TSK ry. (2017) *Kokonaisturvallisuuden sanasto*. Helsinki. ISSN 1795-6323
- Suomen Betoniyhdistys ry. (2023) *Betonin valmistus*. Betonitieto.fi. Luettu 3.1.2023. Saatavilla: <https://www.betonitieto.fi/oppiminen/opetuksen-tukimateriaali/betonin-valmistus.html>
- Suomen riskienhallintayhdistys ry. (2023) *Haavoittuvuusanalyysi*. pk-rh.fi. Luettu 10.2.2023. Saatavilla: <https://pk-rh.fi/tools/haavoittuvuusanalyysi.html>
- Speth, C. & Probert, C. (2015) *SWOT analysis*. Namur: Lemaitre Publishing. [Online]
- Työsuojeluhallinnon verkkopalvelu. (2022) *Työtapaturmien ehkäisy*. Työsuojelu.fi. Luettu 10.2.2023. Saatavilla: <https://www.tyosuojelu.fi/tyoterveys-ja-tapaturmat/onnettomuuksien-ehkaisy>
- Virolainen K., Nissilä M. & Tiihonen J. (2000) *Pk-yrityksen haavoittuvuusanalyysi*. PK-RH-hanke. (verkkójulkaisu)
- Zhu Y., Lonka H., Tähtinen K., Anttonen M., Isokääntä P., Knuutila A., Lahdensivu J., Mahiout S., Mäntylä A., Raimovaara M., Rantio T., Santonen T. & Teittinen T. (2022) *Purkumateriaalien kelpoisuus eri käyttökohteisiin turvallisuuden ja terveellisuuden näkökulmasta*. Valtioneuvoston kanslia.